

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

## System for controlling brake pressure based on fuzzy logic using steering angl and yaw spe d

Veröffentlichungsnr. (Sek.) : ☐ US5634698  
Veröffentlichungsdatum : 1997-06-03  
Erfinder : BECKER ROLF (DE); CAO CHI-THUAN (DE); BELZNER ULRICH (DE); MOELLER THORSTEN-WILHELM (DE); LIEBEROTH-LEDEN BERND (KR)  
Anmelder :: BOSCH GMBH ROBERT (DE)  
Veröffentlichungsnummer : ☐ DE4405379  
Aktenzeichen:  
(EPIDOS-INPADOC-normiert) US19950391809 19950221  
Prioritätsaktenzeichen:  
(EPIDOS-INPADOC-normiert) DE19944405379 19940219  
Klassifikationssymbol (IPC) : B60T8/32 ; B62D6/00  
Klassifikationssymbol (EC) : B60T8/00B10H, B60T8/00B14, B62D7/15G  
Korrespondierende Patentschriften ☐ JP7257350

### Bibliographische Daten

An ABS which evaluates slip values prescribes pressure values for the wheel brakes. In order to improve the driving stability, these pressure values are varied by a brake controller using the deviation of the yawing speed from a set value and the front-axle steering angle as input variables. The brake controller determines its output values (variation values) with the aid of the fuzzy logic. Additionally, rear-axle steering is integrated into the system, the system partially also using fuzzy logic. Subsequently, an adaptation which is based on fuzzy logic and uses the brake controller and the rear-axle steering controller in a weighted fashion is proposed.

Daten aus der esp@cenet Datenbank - - I2



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 44 05 379 A 1

61 Int. Cl.<sup>6</sup>  
B 60 T 8/32  
B 62 D 6/00

21 Aktenzeichen: P 44 05 379.7  
22 Anmeldetag: 19. 2. 94  
23 Offenlegungstag: 24. 8. 95

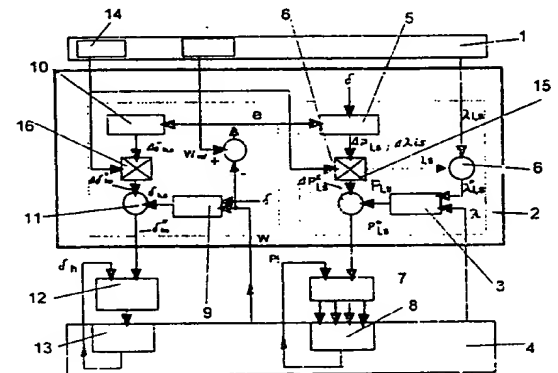
DE 44 05 379 A 1

71 Anmelde...  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

72 Erfinder:  
Cao, Chi-Thuan, Dr.-Ing. Dr., 70825  
Korntal-Muenchingen, DE; Becker, Rolf, Dipl.-Ing.,  
71254 Ditzingen, DE; Belzner, Ulrich, Dipl.-Ing., 71701  
Schwieberdingen, DE; Moeller, Thorsten-Wilhelm,  
Dipl.-Ing., 71701 Schwieberdingen, DE;  
Lieberoth-Leden, Bernd, Dr.-Ing. Dr., 60385  
Frankfurt, DE

54 Fahrdynamikregelsystem

57 Es wird ein Fahrdynamikregelsystem beschrieben, bei dem ein ABS, das Schlupfwerte auswertet, Druckwerte für die Radbremsen vorgibt. Zur Verbesserung der Fahrstabilität werden diese Druckwerte variiert, wobei die Variation durch einen Bremsregler mit den Eingangsgrößen Abweichung der Giergeschwindigkeit von einem Sollwert und Vorderachslenkwinkel bewirkt wird. Der Bremsregler ermittelt seine Ausgangswerte (Variationswerte) mit Hilfe der Fuzzy-Logik. Zusätzlich wird eine Hinterachslenkung in das System integriert, das zum Teil ebenfalls Fuzzy-Logik einsetzt. Anschließend wird eine auf Fuzzy-Logik beruhende Anpassung vorgeschlagen, die den Bremsregler und den Hinterachslenkregler gewichtet einsetzt.



DE 44 05 379 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 06. 95 F58 034/214

23/31

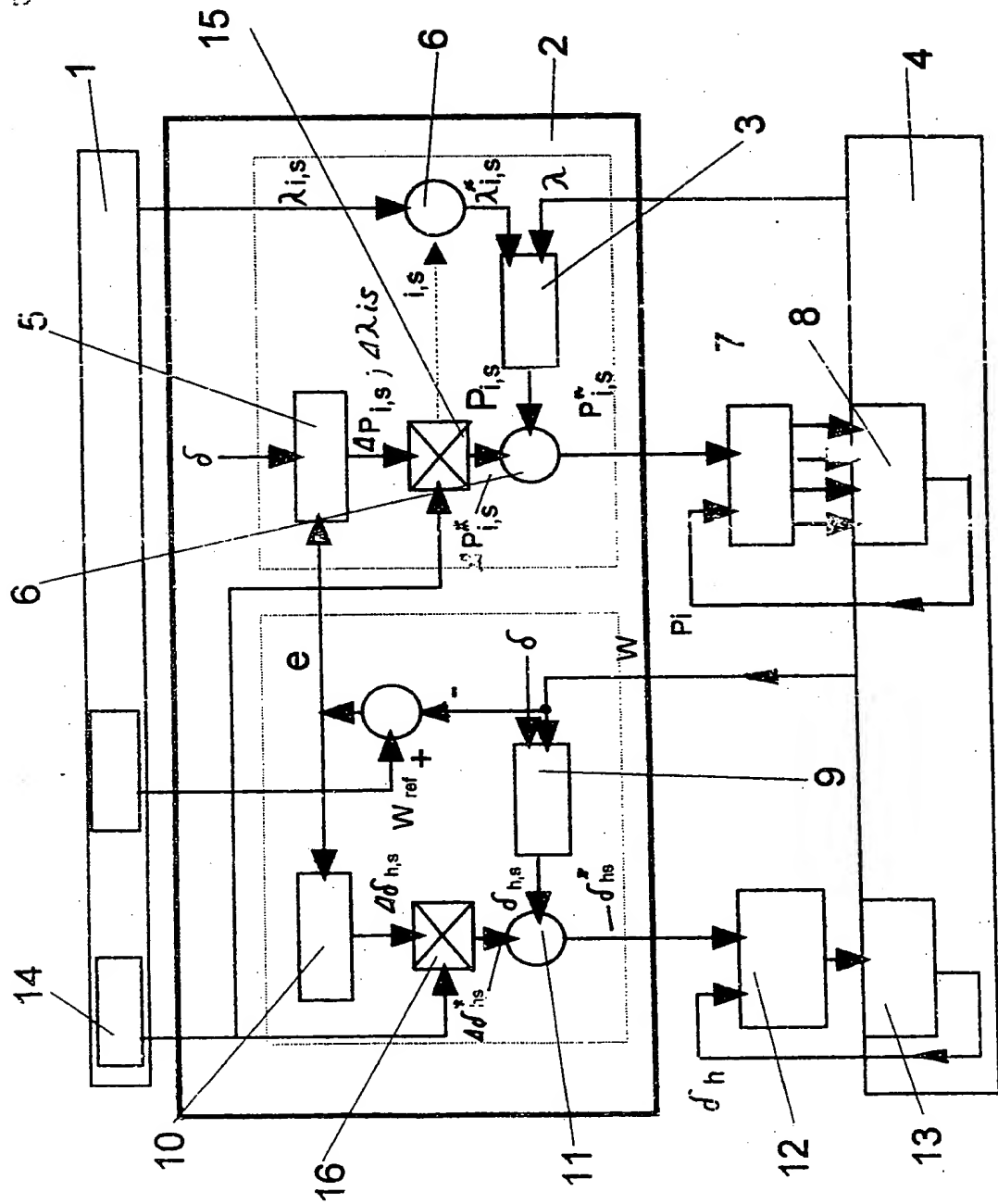


Fig 1

## Beschreibung

## Stand der Technik

Ein Fahrdynamikregelsystem mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1 ist aus dem Aufsatz "A New System for Independently Controlling Braking Force Between Inner and Outer Rear Wheels" von Nakazato et al erschienen als SAE Paper 890835 bekannt. Der Grundgedanke besteht dabei darin, eine Vorrichtung zu schaffen, mit der die Stabilität und Lenkfähigkeit bei gleichzeitigem Erhalt kurzer Bremswege während einer ABS-Bremsung eines Kraftfahrzeugs durch individuelle Radbremsdruckverteilung sichergestellt werden kann.

## Vorteile der Erfindung

Durch die Erfindung soll eine Vereinfachung des Fahrdynamikregelsystems erreicht werden. Außerdem wird durch die Fahrzeugalgorithmen ein echtzeitfähiges  $\mu$ C-Programm erreicht. In weiterer Ausbildung der Erfindung wird zusätzlich eine Hinterachslenkung in das System integriert, das zum Teil ebenfalls Fuzzy-Logik einsetzt und es wird eine auf Fuzzy-Logik beruhende Anpassung vorgeschlagen, die den Bremsregler und den stabilisierenden Anteil des Hinterachslenkungsregels gewichtet einsetzt.

## Figurenbeschreibung

Anhand der Zeichnung wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung erläutert. Es zeigen Fig. 1 ein Blockschaltbild eines erfindungsgemäßen Fahrdynamikregelsystems, Fig. 2 bis 14 Tabellen und Diagramme zur Erklärung der Regler und ihrer Funktion.

Das gezeigte System ist hierarchisch aufgebaut. Es besteht in der obersten Koordinationsebene aus einem Koordinationsblock 1, der die Sollwerte für einen ABS-Regler und einen Hinterachslenkungsregler vorgibt und außerdem die Anpassung enthält, die die Gewichtung steuert, mit der die stabilisierenden Anteile der Regler in die Gesamtregelung eingehen. Die verwendeten Sollwerte werden dabei experimentell oder heuristisch ermittelt.

Auf der nächsten Ebene 2 ist ein ABS-Schlupfregler 3 als Grundregler vorgesehen, der Schlupfsollwerte  $\lambda_{is}$  aus Block 1 und Schlupfstwerte  $\lambda_i$  vom Fahrzeug 4 (Fahrzeugräder  $i = 1-4$  nicht dargestellt) verarbeitet und Drucksollwerte  $P_{is}$  abgibt. Zusätzlich ist ein Fuzzy-Bremsregler 5 vorgesehen, dem die Größen  $e = w_{ref} - w$  und  $\delta$  zugeführt werden.  $w$  ist die im Fahrzeug ermittelte Giergeschwindigkeit um die Hochachse,  $w_{ref}$  die Sollgiergeschwindigkeit aus dem Koordinationsblock 1 und  $\delta$  der gemessene Vorderachslenkwinkel. Der Bremsregler 5 ermittelt unter Nutzung der Fuzzy-Logik Korrekturwerte  $\Delta P_{is}$ , die zur Stabilisierung des Fahrzeugs dienen. Diese werden den Sollwerten  $P_{is}$  des ABS in einem Addierer 6 überlagert, so daß Drucksollwerte  $P^*_{is} = P_{is} + \Delta P_{is}$  entstehen. Diese und Druckistwerte  $P_i$  werden einem in einer dritten Ebene vorgesehenen Druckregler 7 zugeführt, der Bremsdrucksteuerventile (in 8) für die Bremsen (in 8) ansteuert und den Solldruck einregelt.

Der Fuzzy-Bremsregler kann als Ausgangsgröße alternativ zu  $\Delta P_{is}$  auch Schlupfkorrekturwerte  $\Delta \lambda_{is}$  ausgeben, die in einem Addierer 6' den Schlupfsollwerten  $\lambda_{is}$  überlagert werden. Der ABS-Regler 3 erhält dann Schlupfsollwerte  $\lambda^*_{is} = \lambda_{is} + \Delta \lambda_{is}$ , die er in dem Druckregler 7 zuzuführende Drucksollwerte  $P_{is}$  umsetzt.

Parallel ist ein Hinterachslenkungsregler vorgesehen, der ein Modellfolgeregler ist und aus einem Steuerungsanteil 9 und einem Fuzzyregler 10 besteht. Dem Steuerungsanteil 9 werden als Eingangsgrößen die Giergeschwindigkeit  $w$  und der Lenkwinkel  $\delta$  zugeführt, dem Fuzzy-Regler nur die Größe  $e$ . Der Steuerungsanteil 9 ermittelt aus den Eingangsgrößen  $w$  und  $\delta$  einen Sollhinterachslenkwinkel  $\delta_{hs}$  nach Maßgabe der folgenden Gleichung, wobei die Größen  $h_{22}$ ,  $h_{22v}$ ,  $\Phi_{22ref}$ ,  $h_{21ref}$ ,  $\Phi_{22}$  und  $h_{21}$  fahrzeugspezifische Konstante sind.

$$\delta_{hs} = (1/h_{22}) \times (1/h_{22v}) \times (\Phi_{22ref} w + h_{21ref} \delta - \Phi_{22} w - h_{21} \delta).$$

Der Fuzzy-Regler 10 erzeugt einen Korrekturwert  $\Delta \delta_{hs}$ , der von  $e$  abhängig ist und der dem Sollwert des Steuerungsanteils 9 zu einem neuen Sollwert  $\delta^*_{hs}$  überlagert wird.

$$\delta^*_{hs} = \delta_{hs} + \Delta \delta_{hs}.$$

Dieser in einem Addierer 11 korrigierte Sollwert wird einem in dritter Ebene angeordneten Lageregler 12 zugeführt, dem auch der Istwert der Lage der Hinterachslenkung  $\delta_h$  zugeführt wird und der mittels eines Stellers 13 die Hinterachslenkung nachstellt.

Wenn beide stabilisierenden Regler 5 und 10 wirksam sind, ist es sinnvoll, deren Einfluß nicht voll zur Geltung kommen zu lassen, sondern eine Gewichtung vorzunehmen. Die Gewichtung wird von einer mit Fuzzy-Logik arbeitenden Anpassung 14 in der obersten Ebene vorgenommen, wobei diese Gewichtungsfaktoren an Blöcke 15 und 16 abgibt, die zwischen 0 und 1 liegen.

Nun wird auf die Bremsregelung und auf die Hinterachsregelung näher eingegangen.

Die Aufgabe der Bremsregelung besteht darin, bei kritischen Fällen das Fahrzeug durch Gegenmomente, die durch individuelle Bremsdruck-Bremschlupf-Änderungen erzeugt werden, zu stabilisieren.

Im Normalfall versucht der Schlupfregler zur Erzielung kurzer Bremswege einen gewünschten optimalen Schlupf  $\lambda_i$  und damit einen optimalen Bremsdruck  $P_i$  für jedes Rad individuell einzuhalten. Dies bewirkt aber für manche Fahrmanöver (wie  $\mu$ -Split-Bremsung, Kurvenbremsung oder Lenkwinkelsprung bei hoher Geschwindigkeit) unerwünschte Drehbewegungen, die zur Instabilität des Fahrzeugs (Schleudern, Spurabweichung)

führen können. Mit Hilfe des Fuzzy-Bremsreglers 5 soll mindestens ein Rad gezielt durch Verschiebung des Sollschlupfs ( $\lambda_{is}$ ) oder Solldrucks ( $P_{is}$ ) beeinflußt werden, so daß das Fahrzeug stabil bleibt. Der modifizierte Sollschlupf  $\lambda^*_{is}$  (Solldruck  $P^*_{is}$ ) lautet dann, wie oben bereits gesagt

$$\begin{aligned}\lambda^*_{is} &= \lambda_{is} + \Delta\lambda_{is}, \\ P^*_{is} &= P_{is} + \Delta P_{is}.\end{aligned}$$

Die Bildung von  $\Delta\lambda_{is}$  bzw.  $\Delta P_{is}$  erfolgt durch die Bewertung von querdynamischen Fahrzeuggrößen, nämlich dem Lenkwinkel  $\delta$  und der Abweichung der Gierwinkelgeschwindigkeit  $e = w_{rel} - w$ :

$$\begin{aligned}\Delta\lambda_{is} &= f(\delta, e) \\ \Delta P_{is} &= f(\delta, e).\end{aligned}$$

Man kann sowohl den Bremsdruck mit  $\Delta P_{is}$  korrigieren als auch den Bremsschlupf mit  $\Delta\lambda_{is}$ . Sinnvollerweise werden bei Druckzunahme der Sollschlupf und bei Druckabnahme der Solldruck variiert. Das heißt:

$$\begin{aligned}\Delta\lambda_{is} &> 0 \\ \Delta P_{is} &< 0\end{aligned}$$

werden genutzt.

Durch die Kombination ( $\delta, e$ ) können vier Fahrzustände unterschieden werden:

$\delta > 0, e > 0$ : links-untersteuernd  
 $\delta > 0, e < 0$ : links-übersteuernd  
 $\delta < 0, e > 0$ : rechts-übersteuernd  
 $\delta < 0, e < 0$ : rechts-untersteuernd.

Je nach Fahrzustand werden die Räder unter- oder übergebremst. In der Tabelle der Fig. 2 sind Strategien und Zuordnungen der Bremseingriffe BRE zusammengestellt. V steht für vorn, H für hinten, L für links und R für rechts, I für innen und A für außen.

Der Fuzzy-Bremsregler 10 erzeugt aus ( $\delta$  und  $e$ ) die entsprechenden Bremseingriffe BRE\_V\_I, BRE\_V\_A, BRE\_H\_I und BRE\_H\_A. Je nach  $\delta$  bedeuten:

$\delta > 0$ :  
 BRE\_VL = BRE\_V\_I  
 BRE\_VR = BRE\_V\_A  
 BRE\_HL = BRE\_H\_I  
 BRE\_HR = BRE\_H\_A

$\delta < 0$ :  
 BRE\_VR = BRE\_V\_I  
 BRE\_VL = BRE\_V\_A  
 BRE\_HR = BRE\_H\_I  
 BRE\_HL = BRE\_H\_A.

Die Eingangsgröße  $e$  wird gemäß Fig. 3 auf einen Bereich von  $-1$  und  $+1$  normiert ( $e_N$ ) und in vier unscharfe symmetrische Mengen eingeteilt:

NB = negative big  
 NS = negative small  
 PS = positive small  
 PB = positive big.

Die Ausgangsgröße BRE wird auf einen Bereich  $BRE_{min}$  und  $BRE_{max}$  normiert (Fig. 4,  $BRE_N$ ) und ebenfalls in vier unscharfe symmetrische Mengen eingeteilt:

NB = negative big  
 NS = negative small  
 PS = positive small  
 PB = positive big.

Zwischen den physikalischen und den normierten Größen gelten folgende Zusammenhänge:

$$e \cdot K_1_{BRG} = e_N$$

$$BRE_N \cdot K_3_{BRG} = BRE$$

wobei  $K_1_{BRG}$  und  $K_3_{BRG}$  gewählte Normierungsfaktoren sind.

Für die Version 1 der Tabelle der Fig. 2 können folgende Regeln zusammengestellt werden:

wenn  $\delta > 0$  und  $e = NB$  oder  $\delta < 0$  und  $e = PB$ , dann

BRE\_V\_I = NS  
 BRE\_V\_A = NS  
 BRE\_H\_A = NB

BRE\_H\_A = PB  
 wenn  $c = NS$  oder  $c = PS$ , dann  
 BRE\_V\_I = (NS o. PS)  
 BRE\_V\_A = (NS o. PS)  
 5 BRE\_H\_I = (NS o. PS)  
 BRE\_H\_A = (NS o. PS)  
 wenn  $\delta > 0$  und  $c = PB$  oder  $\delta < 0$  und  $c = NB$ , dann  
 BRE\_V\_I = PB  
 BRE\_V\_A = NB  
 10 BRE\_H\_I = PS  
 BRE\_H\_A = PS.

Aufgrund der Zeitoptimierung wird der FUZZY\_BRG in analytische Ausdrücke wie folgt realisiert:

wenn  $(\delta > 0 \text{ und } e < 0)$  oder  $(\delta < 0 \text{ und } e > 0)$  dann  
 15 BRE\_V\_I = 0  
 BRE\_V\_A = 0  
 BRE\_H\_I =  $((\mu_{PB})/(2 - \mu_{PB})) \cdot r_{NB}$   
 BRE\_H\_A =  $((\mu_{PB})/(2 - \mu_{PB})) \cdot r_{PB}$   
 und  
 20 wenn  $(\delta > 0 \text{ und } e > 0)$  oder  $(\delta < 0 \text{ und } e < 0)$  dann  
 BRE\_V\_I =  $((1 - \mu_{NS})/(1 + \mu_{NS})) \cdot r_{NB}$   
 BRE\_V\_A =  $((1 - \mu_{NS})/(1 + \mu_{NS})) \cdot r_{PB}$   
 BRE\_H\_I = 0  
 BRE\_H\_A = 0.  
 25 Dabei gelten für die gewählte Normierung  
 $r_{NB} = -0.667$   
 $r_{PB} = 0.667$ .

30 
$$\mu_{PB} = \begin{cases} e & e > 0 \\ -e & e < 0 \end{cases}$$
  
 35 
$$\mu_{NS} = \begin{cases} 1 - e & e > 0 \\ 1 + e & e < 0 \end{cases}$$
  
 40

Für die anderen Strategien 2—4 der Tabelle der Fig. 2 ergeben sich die folgenden analytischen Ausdrücke:

45	Wenn $(\delta > 0 \text{ und } e < 0)$ oder $(\delta < 0 \text{ und } e > 0)$	Wenn $(\delta > 0 \text{ und } e > 0)$ oder $(\delta < 0 \text{ und } e < 0)$
50	dann BRE_V_I = 0 BRE_H_I = 0 BRE_H_A = 0	dann BRE_V_I = 0 BRE_V_A = 0 BRE_H_A = 0
55		
60	$\mu_{PB}$ $BRE_V_A = \frac{\mu_{PB}}{2 - \mu_{PB}} \cdot r_{PB}$	$1 - \mu_{NS}$ $BRE_H_I = \frac{1 - \mu_{NS}}{1 + \mu_{NS}} \cdot r_{PB}$
65		

Version 3

dann

$$\text{BRE\_V\_I} = 0$$

$$\text{BRE\_V\_A} = 0$$

$$\text{BRE\_H\_A} = 0$$

dann

$$\text{BRE\_V\_I} = 0$$

$$\text{BRE\_V\_A} = 0$$

$$\text{BRE\_H\_A} = 0$$

5

$$\mu_{PB}$$

$$\text{BRE\_H\_I} = \frac{\mu_{PB}}{2 - \mu_{PB}} \cdot r_{NB}$$

$$2 - \mu_{PB}$$

$$1 - \mu_{NS}$$

$$\text{BRE\_H\_I} = \frac{1 - \mu_{NS}}{1 + \mu_{NS}} \cdot r_{PB}$$

$$1 + \mu_{NS}$$

10

15

Version 4

dann

$$\text{BRE\_V\_I} = 0$$

$$\text{BRE\_H\_I} = 0$$

$$\text{BRE\_R\_A} = 0$$

dann

$$\text{BRE\_V\_I} = 0$$

$$\text{BRE\_H\_I} = 0$$

$$\text{BRE\_H\_A} = 0$$

20

$$\mu_{PB}$$

$$\text{BRE\_V\_A} = \frac{\mu_{PB}}{2 - \mu_{PB}} \cdot r_{PB}$$

$$2 - \mu_{PB}$$

$$\mu_{PB}$$

$$\text{BRE\_V\_A} = \frac{\mu_{PB}}{2 - \mu_{PB}} \cdot r_{NB}$$

$$2 - \mu_{PB}$$

25

30

$$\text{wobei: } r_{NB} = -0,667$$

$$e \quad e > 0$$

$$\mu_{PB} = \left\{ \begin{array}{ll} e & e > 0 \\ -e & e < 0 \end{array} \right.$$

$$r_{PB} = 0,667$$

$$-e \quad e < 0$$

35

$$1 - e \quad e > 0$$

40

$$e = w_{ref} - w \quad \mu_{NB} = \left\{ \begin{array}{ll} 1 - e & e > 0 \\ 1 + e & e < 0 \end{array} \right.$$

$$1 + e \quad e < 0$$

45

Die obigen Werte für BRE müssen nun noch mit Hilfe des Vorzeichens des Lenkwinkels  $\delta$  in den Rädern zugeordnete Bremseneingriffswerte z. B. BRE\_VL umgewandelt werden. Hieraus ergeben sich dann die Werte für  $\Delta\lambda_{is}$  und/oder  $\Delta P_{is}$ .

Nun wird auf den Hinterachsregler näher eingegangen.

Es handelt sich um einen Modellfolgeregler mit dem Steuerungsanteil 9 und dem Fuzzy-Regler 10. Es wird gebildet

50

$$\delta_{hs}^* = \delta_{hs} + \Delta\delta_{hs}$$

Der Steuerungsanteil ergibt sich aus dem Lenkwinkel vorne  $\delta$  und der Gierwinkelgeschwindigkeit  $w$  zu:

55

$$\delta_{hs} = (1/h_{22}) \cdot (1/h_{22v}) \cdot (\Phi_{22ref} w + h_{21ref} \delta - \Phi_{22} w - h_{21} \delta)$$

Der Fuzzy-Regler ist entweder ein Fuzzy-P-Regler oder ein Fuzzy-PD-Regler. Der Fuzzy-Regler bewertet die Abweichung der Gierwinkelgeschwindigkeit  $e$  und erzeugt nach gewissen Regeln die Stellgröße  $\Delta\delta_{hs}$ :

60

$$\Delta\delta_{hs} = f(w_{ref} - w)$$

Die Begründung für eine derartige Kombination kann wie folgt verdeutlicht werden. Auf der Basis eines Einspurmodells erhält man für die Gierwinkelgeschwindigkeit die folgende Differenzengleichung:

65

$$w(k+1) = \Phi_{22} w(k) + h_{21} \delta(k) + h_{22} \delta_h(k)$$



Im Sinne einer Modellfolgeregelung soll eine gewünschte Gierwinkelgeschwindigkeit  $w_{ref}$ , die durch die folgende Differenzengleichung beschrieben wird:

$$w_{ref}(k+1) = \Phi_{22ref} w_{ref}(k) + h_{21ref} \delta(k),$$

5 mit Hilfe der Stellgröße  $\delta_h$  gefolgt werden. Daraus resultiert die gesuchte Stellgröße:

$$\delta_{hs}^* = (1/h_{22}) \cdot (1/h_{22v}) \cdot (\Phi_{22ref} w_{ref} + h_{21ref} \delta - \Phi_{22} w - h_{21} \delta),$$

10 wobei  $h_{22v}$  einen Anpassungsbeiwert darstellt.  $h_{22}$ ,  $h_{21}$ ,  $\Phi_{22}$  sind fahrzeugspezifische Größen und  $\Phi_{22ref}$  und  $h_{21ref}$  sind gewählte Parameter für eine gewünschte Gierwinkelgeschwindigkeit  $w_{ref}$ .

Die obige Reglergleichung kann wiederum wie folgt umgeformt werden:

$$\delta_{hs}^* = (1/h_{22})(1/h_{22v})(\Phi_{22ref} w + h_{21ref} \delta - \Phi_{22} w - h_{21} \delta) + (1/h_{22})(1/h_{22v})\Phi_{22ref}(w_{ref} - w).$$

15 Vergleicht man die weiter oben angegebene Gleichung für  $\delta_{hs}^*$  mit der gerade angegebenen Gleichung, so erkennt man:

$$\delta_{hs} = (1/h_{22})(1/h_{22v}) \cdot ((\Phi_{22ref} - \Phi_{22}) w + (h_{21ref} - h_{21}) \delta)$$

$$20 \Delta \delta_{hs} = (1/h_{22})(1/h_{22v}) \Phi_{22ref} (w_{ref} - w).$$

Ist der Fuzzy-Regler ein P-Regler, so wird als Eingangsgröße nur die Regelabweichung  $e = w_{ref} - w$  bewertet. Es werden normierte Ein- und Ausgangsgrößen betrachtet. Zwischen den physikalischen und normierten Größen gelten folgende Zusammenhänge:

$$25 \begin{aligned} e K_1 &= e_N; K_1 > 0 \\ u_N K_3 &= u; K_3 > 0. \end{aligned}$$

Die Eingangsgröße  $e$  wird auf einen Bereich von  $-10$  und  $+10$  normiert. Das heißt:  $K_1$  muß so gewählt werden, daß es folgender Gleichung genügt:

$$e_{max} \cdot K_1 < 10.0$$

mit  $e_{max}$ : größte auftretende Abweichung.

35 Es hat sich aus Fahrversuchen gezeigt, daß  $e_{max}$  in der Realität, solange das Fahrzeug stabil bleibt, den Wert  $1.0 \text{ rad/s}$  nicht erreicht. Aus diesen Erwägungen heraus wird  $K_1 = 10.0$  gewählt.

Tritt der Fall auf, daß  $e_{max} \cdot K_1 > 10.0$  wird, so wird  $e_{max} \cdot K_1$  auf  $10.0$  begrenzt.

Die Ausgangsgröße  $u$  ( $\delta_{hs}$ ) wird über den Faktor  $K_3$  denormiert.

Für  $K_3$  gilt:

$$40 u_{Nmax} \cdot K_3 < u_{max},$$

mit  $u_{Nmax} = 6.67$  und  $u_{max} = 0.087 \text{ rad}$ , wobei  $u_{max}$  der maximale Lenkwinkel der Hinterachse ist. Es folgt dann:

$$45 \begin{aligned} K_3 &< \frac{0.087}{6.67} = 0.013 \text{ rad}. \end{aligned}$$

50 Die Zugehörigkeitsfunktionen werden als lineare Funktionen entworfen. Die Eingangsgröße  $e$  wird in vier unscharfe symmetrische Mengen eingeteilt, die in Fig. 5 gezeigt sind und zwar:

NB = negative big  
55 NS = negative small  
PS = positive small  
PB = positive big.

Die Ausgangsgröße  $u$  wird in drei unscharfe symmetrische Mengen (Fig. 6) eingeteilt:

60 N = negative  
P = positive  
Z = approximately zero.

Die Regeln zur Verknüpfung der Ein- und Ausgangsgrößen werden aus einfachen Überlegungen gewonnen:

65 wenn  $e = PB$ ; dann  $u = N$   
wenn  $e = NB$ ; dann  $u = P$   
wenn  $e = (PS \text{ oder } NS)$ ; dann  $u = Z$ .

Der Fuzzy-Regler wurde mit dem Entwicklungswerkzeug 'TIL-Shell' der Firma Togai InfraLogic entwickelt. Der damit erzeugte Programmcode wird mit Hilfe eines Fuzzy-C-Compilers, der ebenfalls von Togai stammt, in einen C-Programmcode übersetzt und kann in die Simulationsumgebung eingebunden werden.

Eine Implementierung des Regelalgorithmus auf einem Echtzeitsystem im Fahrzeug macht eine Rechenzeitbetrachtung notwendig. Ein großes Einsparungspotential ist in dem Fuzzy-Algorithmus zu sehen. Grundsätzlich stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung:

- Optimierung des Programmcodes zur on-line-Berechnung der Stellgröße,
- Stellgrößenermittlung mittels Kennfeld.

Hier wird die erstgenannte untersucht.

Der von dem TIL-Shell gelieferte C-Code ist in der Regel nicht auf kurze Rechenzeiten ausgelegt und muß optimiert werden. Eine effektivere Vorgehensweise zur Rechenzeitoptimierung ist die Realisierung des Fuzzy-Reglers in Form von analytischen Ausdrücken. Unter den folgenden Voraussetzungen

- symmetrische Mengen,
- MAX-DOT-Inferenz,
- Schwerpunktmethod zur Defuzzifikation

wurde für den obigen Fuzzy-P-Regler die folgende Formel gewonnen:

$$u = \frac{\mu_P - 1}{\mu_P + 1} r_P \text{ sign}(e)$$

mit

$\mu_P = 1 - (0.1 K_1 e) \text{ sign}(e)$ ,  
 $r_P$ : Schwerpunkt der Ausgangsmenge Positive (P)  
 $(r_P = 6.67 \text{ bei der Normierung von } e \text{ auf } -10 \text{ und } +10)$ .

Durch diese einfachen Umformungen kann der Rechenzeitbedarf des FP-Reglers auf 1/11 des ursprünglichen mit TILshell benötigten Wertes gesenkt werden. Daher wurde diese Realisierung verwendet.

Bei Verwendung eines PD-Reglers werden zur Bildung der Stellgröße  $u$  nun die Regelabweichung  $e$  und deren zeitliche Ableitung  $\dot{e}$  verwendet. Der Regler wird in einer normierten Phasenebene systematisch entworfen. Die Gebietseinteilung der Phasenebene erfolgt durch heuristische Erwägungen.

Die Eingangsgröße  $e$  wird in vier unscharfe symmetrische Mengen eingeteilt (Fig. 7):

NB = negative big,  
 NS = negative small,  
 PS = positive small,  
 PB = positive big.

Die beiden Punkte A und B liegen symmetrisch zur Geraden  $e = 0$ . Durch ein Verschieben dieser Punkte auf der  $e$ -Achse kann eine Totzone für  $e$  realisiert werden.

Die Eingangsgröße  $e$  wird ebenfalls in vier unscharfe symmetrische Mengen eingeteilt (Fig. 8):

NB = negative big,  
 NS = negative small,  
 PS = positive small,  
 PB = positive big.

Die beiden Punkte C und D liegen symmetrisch zur Geraden  $e = 0$ . Durch ein Verschieben dieser Punkte auf der  $e$ -Achse kann eine Totzone für  $e$  realisiert werden.

Die normierte Phasenebene wird in sieben unscharfe Gebiete eingeteilt, wobei jedem Gebiet eine unscharfe Ausgangsmenge der Stellgröße  $u$  mit gleichem Namen zugeordnet wird (Fig. 9 und Fig. 10):

NB = negative big,  
 NM = negative medium,  
 NS = negative small,  
 Z = approximately zero,  
 PS = positive small,  
 PM = positive medium,  
 PB = positive big.

Die verwendeten Regeln sind:

	wenn e=NB	und e=NB	dann u=PB
5	wenn e=NB	und e=(PS oder NS)	dann u=PM
10	wenn e=NB	und e=PB	dann u=PS
	wenn e=(PS oder NS)	und e=NB	dann u=Z
15	wenn e=(PS oder NS)	und e=(PS oder NS)	dann u=Z
20	wenn e=(PS oder NS)	und e=PB	dann u=Z
	wenn e=PB	und e=NB	dann u=NS
25	wenn e=PB	und e=(PS oder NS)	dann u=NM
30	wenn e=PB	und e=PB	dann u=NB.

Für den Reglerentwurf werden normierte Ein- und Ausgangsgrößen verwendet. Zwischen den physikalischen und normierten Größen gelten folgende Zusammenhänge:

$$e_N = e \cdot K_1; K_1 > 0,$$

$$e_N = e \cdot K_2; K_2 > 0,$$

$$u = u_N \cdot K_3; K_3 > 0.$$

Die Ein- und Ausgangsgrößen werden auf Bereiche von -10 bis +10 normiert.

Die Normierungsfaktoren  $K_1$ ,  $K_2$  und  $K_3$  sind hierbei als Reglerparameter aufzufassen. Aus der Simulation ergaben sich folgende Werte:

$$K_1 = 10$$

$$K_2 = 0.5$$

$$K_3 = 0.02 \text{ bis } 0.04$$

Die Einführung von  $e$  hat zur Folge, daß der Regler 10 im Echtzeitsystem mehr Rechenzeit in Anspruch nimmt als dafür vorgesehen ist.

Um innerhalb der vorgegebenen Rechenzeit zu bleiben, muß der C-Code des Fuzzy-PD-Reglers optimiert werden. Die vorn schon erwähnte Möglichkeit in Form eines analytischen Ausdrucks kann in ähnlicher Weise hierfür abgeleitet werden. Einige zur Vereinfachung eingeführte Festlegungen (z. B. symmetrische Zugehörigkeitsfunktionen) beschränken den praktischen Einsatz. Daher wurden weitere Bemühungen gemacht, um eine Rechenzeitsoptimierung des Fuzzy-PD-Reglers zu erreichen.

Eine neue Möglichkeit der Optimierung basiert auf der Idee, durch systematische und intelligente Vermeidung redundanter und für jeweils aktuelle Systemzustände nicht aussagekräftiger Operationen einen nennenswerten Einsparung an Berechnungsaufwand zu erzielen.

Bei herkömmlicher Vorgehensweise sind für den Fuzzy-PD-Regler in jedem Zyklus acht Zugehörigkeitswerte zu berechnen und neun Regeln auszuwerten, was je nach verwendeter Inferenzmethode sehr aufwendig sein kann. Aus den hierdurch ermittelten  $\mu_{i,j}$  wird nun entsprechend der verwendeten Defuzzifikationsmethode  $u$  bestimmt, was ebenfalls beträchtlichen Aufwand darstellen kann.

Der Rechenzeitgewinn, der mit der erwähnten Systematik erreicht werden kann, resultiert vorwiegend aus der Vermeidung redundanter (Rechen-)Operationen in Abhängigkeit des jeweils (zur Laufzeit) aktuellen Systemzustandes. Beispielsweise kann die Interpretation spezieller Regeln, die mit einem speziellen Systemzustand in Verbindung gebracht werden können, unter Umständen eingespart werden, wenn bereits bekannt ist, daß sich das zu regelnde System augenblicklich in einem völlig anderen Bereich des Zustandsraums befindet. Die Abgrenzung dieser Bereiche des Zustandsraums gegeneinander wird hierbei aus der Fuzzy-Regelbasis ermittelt.

Diese Strategie wird naheliegenderweise in algorithmischer Form, wie zum Beispiel als Programm in einer prozeduralen Programmiersprache, niedergelegt. Dieser Algorithmus repräsentiert einen binären Entscheidungbaum, an dessen Zweigen nur noch geschlossene algebraische Ausdrücke für die zu ermittelnden neuen Werte der Ausgangsvariablen ausgewertet werden müssen. In Abhängigkeit vom jeweils aktuellen Systemzustand werden die Ausgangsgrößen des Reglers auf verschiedene Art und Weise, d. h. durch Auswertung anderer, ausgewählter Regelsätze ermittelt. 5

Die beiden Regler 5 und 10 bewerten gleichzeitig die Abweichung der Gierwinkelgeschwindigkeit und arbeiten mit gleicher Priorität. Es soll nun mit Hilfe einer Anpassung (FUZZY ANPASSUNG) die die Längs- und Querbeschleunigung bewertet, die geeignete Gewichtung auf die Lenkung (Faktor  $d_{K_3}$ ) und die Bremsung (Faktor  $d_{K_3\_BRG}$ ) verteilt werden. So soll das Kraftschlußpotential für Längs- und Querdynamik besser ausgenutzt werden. Die mit den Gewichtungsfaktoren modifizierten Stellgrößen sind dann: 10

$$\begin{aligned}\Delta\delta^*_{hs} &= d_{K_3} \Delta\delta_{hs} \\ \Delta\lambda^*_{is} &= d_{K_3\_BRG} \cdot \Delta\lambda_{is} \\ \Delta P^*_{is} &= d_{K_3\_BRG} \cdot \Delta P_{is}\end{aligned} \quad 15$$

wobei

$$\begin{aligned}0 &\leq d_{K_3} \leq 1 \\ 0 &\leq d_{K_3\_BRG} \leq 1.\end{aligned} \quad 20$$

Es ist sinnvoll, in der  $(x_1, x_2)$ -Ebene mit den Größen

$$\begin{aligned}x_1 &= b^2_x + b^2_y \\ x_2 &= \text{Abs}(b_x/b_y)\end{aligned} \quad 25$$

$b_x$  = Längsbeschleunigung

$b_y$  = Querbeschleunigung

Abs = Betrag

die Gebietseinteilungen für  $d_{K_3\_BRG}$  zu definieren. Fig. 11 zeigt dann die Regeln zur Bestimmung von  $d_{K_3\_BRG}$ . Die verwendeten Zugehörigkeitsfunktionen für  $x_1$ ,  $x_2$  und  $d_{K_3\_BRG}$  werden in Fig. 12 bis Fig. 14 wiedergegeben. 30

Für die Hinterachslenkung gilt dann

$$d_{K_3} = 1 - d_{K_3\_BRG}. \quad 35$$

#### Patentansprüche

1. Fahrdynamikregelsystem enthaltend ein Antiblockierregler, der aus vorgegebenen Sollschlupfwerten  $\lambda_{is}$  im Vergleich zu ermittelten Schlupfwerten  $\lambda_i$  an den Rädern erste Bremsdrucksollwerte  $P_{is}$  für die Fahrzeugräder ermittelt, wobei die Sollwerte  $P_{is}$  mittels eines Druckreglers eingeregelt werden und wobei die ersten Drucksollwerte  $P_{is}$  durch einen Bremsregler zwecks Stabilitätserhöhung des Fahrzeugs unter Verwendung der ermittelten Größen Vorderachslenkwinkel  $\delta$  und Giergeschwindigkeit  $w$  des Fahrzeugs in zweite Bremsdrucksollwerte  $P^*_{is} = P_{is} + \Delta P_{is}$  umgewandelt werden, dadurch gekennzeichnet, daß der Bremsregler ein Fuzzy-Bremsregler ist. 40
2. Fahrdynamikregelsystem enthaltend ein Antiblockierregler, der aus Sollschlupfwerten  $\lambda^*_{is}$  im Vergleich zu ermittelten Schlupfwerten  $\lambda_i$  an den Rädern Bremsdrucksollwerte  $P_{is}$  für die Fahrzeugräder ermittelt, wobei die Sollwerte  $P_{is}$  mittels eines Druckreglers eingeregelt werden und wobei vorgegebene Schlupfwerte  $\lambda_{is}$  durch einen Bremsregler zwecks Stabilitätserhöhung des Fahrzeugs unter Verwendung der ermittelten Größen Vorderachslenkwinkel  $\delta$  und Giergeschwindigkeit  $w$  des Fahrzeugs in die Schlupfsollwerte  $\lambda^*_{is} = \lambda_{is} + \Delta\lambda_{is}$  umgewandelt werden, dadurch gekennzeichnet, daß der Bremsregler ein Fuzzy-Bremsregler ist. 45
3. Fahrdynamikregelsystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Fuzzy-Bremsregler die Größen  $\Delta P_{is}$  oder  $\Delta\lambda_{is}$  unter Anwendung des folgenden Verfahrens ermittelt: 50
  - a) die Eingangsgröße  $e = w_{Ref} - w$  (wobei  $w_{Ref}$  eine vorgegebene, vom Lenkwinkel und der Fahrzeuggeschwindigkeit abhängige Referenzgröße ist) wird auf einen Bereich von  $-1$  bis  $+1$  normiert und in vier unscharfe symmetrische Mengen eingeteilt
    - $e_N = \text{NB (negative big)}$
    - $e_N = \text{NS (negative small)}$
    - $e_N = \text{PS (positive small)}$
    - $e_N = \text{PB (positive big)}$
  - b) die Ausgangsgröße (Bremseneingriffe) BRE wird auf einen Bereich  $BRE_{min}$  und  $BRE_{max}$  normiert und ebenfalls in vier unscharfe symmetrische Mengen eingeteilt
    - $BRE_N = \text{NB (negative big)}$
    - $BRE_N = \text{NS (negative small)}$
    - $BRE_N = \text{PS (positive small)}$
    - $BRE_N = \text{PB (positive big)}$

c) Es werden folgende Regeln angewendet: (alternativ c1 oder c2, c3, c4)

		Wenn $(\delta > 0$ und $e = NB)$ oder $(\delta < 0$ und $e = PB)$ ist	Wenn $e = h_u$ oder $e = PS$ ist	Wenn $(\delta > 0$ und $e = PB)$ oder $(\delta < 0$ und $e = NB)$ ist
5				
10	c1)	dann BRE_V_I = NS BRE_V_A = NS BRE_H_I = NB BRE_H_A = PB	dann BRE_V_I = NS oder PS BRE_V_A = NS oder PS BRE_H_I = NS oder PS BRE_H_A = NS oder PS	dann BRE_V_I = PS BRE_V_A = NB BRE_H_I = PS BRE_H_A = PS
15				
20	c2)	dann BRE_V_I = NS BRE_V_A = PB BRE_H_I = NS BRE_H_A = NS	dann wie oben	dann BRE_V_I = PS BRE_V_A = PS BRE_H_I = PB BRE_H_A = PS
25				
30	c3)	dann BRE_V_I = NS BRE_V_A = NS BRE_H_I = NB BRE_H_A = NS	dann wie oben	dann BRE_V_I = PS BRE_V_A = PS BRE_H_I = NB BRE_H_A = PS
35				
40	c4)	dann BRE_V_I = NS BRE_V_A = PB BRE_H_I = NS BRE_H_A = NS	dann wie oben	dann BRE_V_I = PS BRE_V_A = NB BRE_H_I = PS BRE_H_A = PS
45				
50				

wobei H für hinten, V für vorn, I für innen und A für außen steht.

d) Die gemäß gewonnenen Fuzzy-BRE werden wie folgt in analytische Ausdrücke umgewandelt; die Vorschriften gemäß d1) bis d4) sind alternativ anwendbar.

Wenn  $\delta$  und  $\epsilon$  unterschiedlich-  
Vorzeichen haben

Wenn  $\delta$  und  $\epsilon$  gleiche  
Vorzeichen haben

d1)

dann

$$BRE\_V\_I = 0$$

$$BRE\_V\_A = 0$$

$$\mu_{PB}$$

$$BRE\_H\_I = \mu_{PB} - x_{NB}$$

$$2 - \mu_{PB}$$

$$\mu_{PB}$$

$$BRE\_H\_A = \mu_{PB} - x_{PB}$$

$$2 - \mu_{PB}$$

dann

$$BRE\_H\_I = 0$$

$$BRE\_H\_A = 0$$

$$1 - \mu_{NS}$$

$$BRE\_V\_I = 1 - \mu_{NS} - x_{NB}$$

$$1 + \mu_{NS}$$

$$1 - \mu_{NS}$$

$$BRE\_V\_A = 1 - \mu_{NS} - x_{PB}$$

$$1 + \mu_{NS}$$

d2)

dann

$$BRE\_V\_I = 0$$

$$BRE\_H\_I = 0$$

$$BRE\_H\_A = 0$$

$$\mu_{PB}$$

$$BRE\_V\_A = \mu_{PB} - x_{PB}$$

$$2 - \mu_{PB}$$

dann

$$BRE\_V\_I = 0$$

$$BRE\_V\_A = 0$$

$$BRE\_H\_A = 0$$

$$1 - \mu_{NS}$$

$$BRE\_H\_I = 1 - \mu_{NS} - x_{PB}$$

$$1 + \mu_{NS}$$

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

d3) dann dann

BRE\_V\_I = 0 BRE\_V\_I = 0

BRE\_V\_A = 0 BRE\_V\_A = 0

BRE\_H\_A = 0 BRE\_H\_A = 0

10  $\mu_{PB}$   $1 - \mu_{NS}$

BRE\_H\_I =  $\frac{\mu_{PB}}{2 - \mu_{PB}} \cdot r_{NB}$  BRE\_H\_I =  $\frac{1 - \mu_{NS}}{1 + \mu_{NS}} \cdot r_{PB}$

15 d4) dann dann

BRE\_V\_I = 0 BRE\_V\_I = 0

BRE\_H\_I = 0 BRE\_H\_I = 0

20 BRE\_H\_A = 0 BRE\_H\_A = 0

25  $\mu_{PB}$   $\mu_{PB}$

BRE\_V\_A =  $\frac{\mu_{PB}}{2 - \mu_{PB}} \cdot r_{PB}$  BRE\_V\_A =  $\frac{\mu_{PB}}{2 - \mu_{PB}} \cdot r_{NB}$

30 wobei:  $r_{NB} = -0,667$   $e$   $e > 0$

$r_{PB} = 0,667$   $\mu_{PB} = \begin{cases} e & e > 0 \\ -e & e < 0 \end{cases}$

35  $e = w_{ref} - w$   $\mu_{NB} = \begin{cases} 1 - e & e > 0 \\ 1 + e & e < 0 \end{cases}$

40  $e = w_{ref} - w$   $\mu_{NB} = \begin{cases} 1 - e & e > 0 \\ 1 + e & e < 0 \end{cases}$

45

e) die mit K3\_BRG rücknormierten gültigen BRE-Werte werden als  $\Delta \lambda_{is}$  bzw.  $\Delta P_{is}$  weiterverwendet, wobei mittels des Lenkwinkels  $\delta$  festgestellt wird, welchen Rädern die Werte für innen und außen zugeordnet werden müssen.

4. Fahrdynamikregelsystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Fuzzy-Bremsregler die Größen  $\Delta P_{is}$  bzw.  $\Delta \lambda_{is}$  unter Anwendung des folgenden Verfahrens aus den Eingangsgrößen  $\delta$  und  $e = w_{ref} - w$  ( $w_{ref}$  ist eine vorgegebene, vom Lenkwinkel und der Fahrzeuggeschwindigkeit abhängige Größe) ermittelt:

a) Es werden Bremseneingriffe BRF nach Maßgabe der folgenden Beziehungen ermittelt:

	Wenn $\delta$ und $\epsilon$ unterschiedliche Vorzeichen haben	Wenn $\delta$ und $\epsilon$ gleiche Vorzeichen haben	
a1)	dann $\text{BRE\_V\_I} = 0$ $\text{BRE\_V\_A} = 0$	dann $\text{BRE\_H\_I} = 0$ $\text{BRE\_H\_A} = 0$	5
	$\mu_{PB}$ $\text{BRE\_H\_I} = \text{-----} \cdot X_{HB}$ $2 \cdot \mu_{PB}$	$1 \cdot \mu_{HS}$ $\text{BRE\_V\_I} = \text{-----} \cdot X_{HB}$ $1 \cdot \mu_{HS}$	10
	$\mu_{PB}$ $\text{BRE\_H\_A} = \text{-----} \cdot X_{PB}$ $2 \cdot \mu_{PB}$	$1 \cdot \mu_{HS}$ $\text{BRE\_V\_A} = \text{-----} \cdot X_{PB}$ $1 \cdot \mu_{HS}$	15
a2)	dann $\text{BRE\_V\_I} = 0$ $\text{BRE\_H\_I} = 0$ $\text{BRE\_H\_A} = 0$	dann $\text{BRE\_V\_I} = 0$ $\text{BRE\_V\_A} = 0$ $\text{BRE\_H\_A} = 0$	20
	$\mu_{PB}$ $\text{BRE\_V\_A} = \text{-----} \cdot X_{PB}$ $2 \cdot \mu_{PB}$	$1 \cdot \mu_{HS}$ $\text{BRE\_H\_I} = \text{-----} \cdot X_{PB}$ $1 \cdot \mu_{HS}$	25
a3)	dann $\text{BRE\_V\_I} = 0$ $\text{BRE\_V\_A} = 0$ $\text{BRE\_H\_A} = 0$	dann $\text{BRE\_V\_I} = 0$ $\text{BRE\_V\_A} = 0$ $\text{BRE\_H\_A} = 0$	30
	$\mu_{PB}$ $\text{BRE\_H\_I} = \text{-----} \cdot X_{HB}$ $2 \cdot \mu_{PB}$	$1 \cdot \mu_{HS}$ $\text{BRE\_H\_I} = \text{-----} \cdot X_{PB}$ $1 \cdot \mu_{HS}$	35
	$\mu_{PB}$ $\text{BRE\_H\_I} = \text{-----} \cdot X_{HB}$ $2 \cdot \mu_{PB}$	$1 \cdot \mu_{HS}$ $\text{BRE\_H\_I} = \text{-----} \cdot X_{PB}$ $1 \cdot \mu_{HS}$	40
a4)	dann $\text{BRE\_V\_I} = 0$ $\text{BRE\_H\_I} = 0$ $\text{BRE\_H\_A} = 0$	dann $\text{BRE\_V\_I} = 0$ $\text{BRE\_H\_I} = 0$ $\text{BRE\_H\_A} = 0$	45
	$\mu_{PB}$ $\text{BRE\_V\_A} = \text{-----} \cdot X_{PB}$ $2 \cdot \mu_{PB}$	$1 \cdot \mu_{HS}$ $\text{BRE\_V\_A} = \text{-----} \cdot X_{PB}$ $1 \cdot \mu_{HS}$	50
	$\mu_{PB}$ $\text{BRE\_V\_A} = \text{-----} \cdot X_{PB}$ $2 \cdot \mu_{PB}$	$1 \cdot \mu_{HS}$ $\text{BRE\_V\_A} = \text{-----} \cdot X_{PB}$ $1 \cdot \mu_{HS}$	55
	$\mu_{PB}$ $\text{BRE\_V\_A} = \text{-----} \cdot X_{PB}$ $2 \cdot \mu_{PB}$	$1 \cdot \mu_{HS}$ $\text{BRE\_V\_A} = \text{-----} \cdot X_{PB}$ $1 \cdot \mu_{HS}$	60

wobei V für vorne, H für hinten, I für innen und A für außen steht, wobei gilt:  $r_{NB} = -2/3$ ,  $r_{PB} = +2/3$  und 65



$$\mu_{PB} = \begin{cases} e & e > 0 \\ -e & e < 0 \end{cases}$$

$$\mu_{NS} = \begin{cases} 1 - e & e > 0 \\ 1 + e & e < 0 \end{cases}$$

b) die mit K3 BRG rücknormierten ermittelten BRE-Werte werden als  $\Delta P_{15}$  bzw.  $\Delta \lambda_{15}$  weiterverwendet, wobei mittels des Lenkwinkels  $\delta$  festgelegt wird, welchen Rädern die Werte für innen und außen zugeordnet werden.

5. Fahrdynamikregelsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß es zusätzlich einen Hinterachslenkungsregler umfaßt.

6. Fahrdynamikregelsystem nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Hinterachslenkungsregler ein Modellfolgeregler mit einem Steuerungsanteil und einem Fuzzy-Regler ist, wobei der Steuerungsanteil einen ersten Sollhinterachslenkwinkel  $\delta_{hs}$ , der vom Vorderradlenkwinkel  $\delta$  und der Giergeschwindigkeit  $w$  abhängt, erzeugt und der Fuzzy-Regler einen Korrekturwert  $\Delta \delta_{hs}$  erzeugt, woraus ein zweiter Sollwert  $\delta^*_{hs} = \delta_{hs} + \Delta \delta_{hs}$  erzeugt wird und daß der Sollwert mittels eines Lenkwinkelreglers eingestellt wird.

7. Fahrdynamikregelsystem nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Wert  $\delta_{hs}$  nach Maßgabe der Beziehung

$$\delta_{hs} = (1/h_{22}) \cdot (1/h_{22v}) \cdot [(\Phi_{22ref} - \Phi_{22})w + (h_{21ref} - h_{21})\delta]$$

gebildet wird, wobei  $h_{22v}$  einen Anpassungsbeiwert darstellt,  $h_{22}$ ,  $h_{21}$ ,  $\Phi_{22}$  fahrzeugspezifische Größen und  $\Phi_{22ref}$  und  $h_{21ref}$  gewählte Parameter für eine gewünschte Giergeschwindigkeit  $w_{ref}$  sind.

8. Fahrdynamikregelsystem nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Korrekturwert  $\Delta \delta_{hs}$  nach Maßgabe der Gleichung

$$\Delta \delta_{hs} = (1/h_{22}) \cdot (1/h_{22v}) \cdot \Phi_{22ref}(w_{ref} - w)$$

ermittelt wird, wobei  $w_{ref}$  ein vom Lenkwinkel abhängiger Sollwert der Giergeschwindigkeit ist,  $h_{22}$ ,  $h_{21}$ ,  $\Phi_{22}$  fahrzeugspezifische Größen und  $\Phi_{22ref}$  und  $h_{21ref}$  gewählte Parameter für eine gewünschte Giergeschwindigkeit  $w_{ref}$  sind.

9. Fahrdynamikregelsystem nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausgangsgröße  $u_N$  des Fuzzy-Reglers nach Maßgabe der Beziehung

$$u_N = \frac{\mu_P - 1}{\mu_P + 1} \cdot r_P \cdot \text{sign}(e)$$

$$\text{sign}(e) = \begin{cases} e & e > 0 \\ -e & e < 0 \end{cases}$$

ermittelt wird, wobei  $\mu_P = 1 - (0.1 \cdot K_1 \cdot e) \text{sign}(e)$  ist, wobei  $K_1 = 10$ ,  $e = (w_{ref} - w)$ , und  $r_P$  (mit  $r_P = 6.67$ ) der Schwerpunkt der Ausgangsmenge Positive (P) ist und gemäß  $\Delta \delta_{hs} (= 0.013 \cdot u_N)$  in den Korrekturwert  $\Delta \delta_{hs}$  umgewandelt wird.

10. Fahrdynamikregelsystem nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß im Fuzzy-Rechner die Eingangsgrößen  $e = (w_{ref} - w)$  und  $e$  verarbeitet werden, und daß die Ausgangsgröße  $u$  nach Maßgabe der folgenden Regeln gewonnen wird:

wenn e=NB	und e=NB	dann u=PB	
wenn e=NB	und e= (PS oder NS)	dann u=PM	5
wenn e=NB	und e=PB	dann u=PS	
wenn e= (PS oder NS)	und e=NB	dann u=Z	10
wenn e= (PS oder NS)	und e= (PS oder NS)	dann u=Z	15
wenn e= (PS oder NS)	und e=PB	dann u=Z	
wenn e=PB	und e=NB	dann u=NS	20
wenn e=PB	und e= (PS oder NS)	dann u=NM	25
wenn e=PB	und e=PB	dann u=NB	30
wobei			
NB = negative big,			
NM = negative medium,			
NS = negative small,			35
Z = approximately zero,			
PS = positive small,			
PM = positive medium,			
PB = positive big			40
bedeutet und daß die Ausgangsgröße u durch folgende Beziehung in den Korrekturwert $\Delta\delta_{hs}$ umgewandelt wird:			
$\Delta\delta_{hs} = 0.013 \cdot u.$			45
11. Fahrdynamikregelsystem nach einem der Ansprüche 5 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß eine Anpassung vorgesehen ist, die den Einfluß der Korrekturgrößen $\Delta P_{is}$ bzw. $\Delta\lambda_{is}$ und $\delta_{hs}$ durch Gewichtungswerte (dK3) für die Lenkung und dK3_BRG für die Bremsung variiert, wobei die Gewichtungswerte zwischen 0 und 1 liegen.			
12. Fahrdynamikregelsystem, nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Gewichtungswerte durch Fuzzy ermittelt werden.			50

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

Version	übersteuernd	untersteuernd
1	h I unterbremst (h A überbremst)	v A unterbremst (V I überbremst)
2	v A überbremst	h I überbremst
3	h I unterbremst	h I überbremst
4	v A überbremst	v A unterbremst

Fig 2

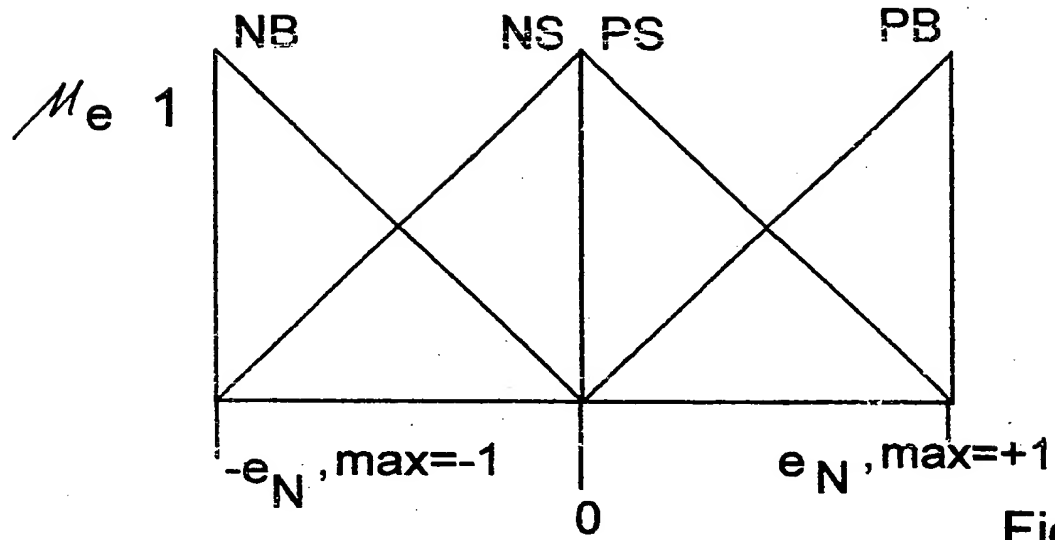


Fig3

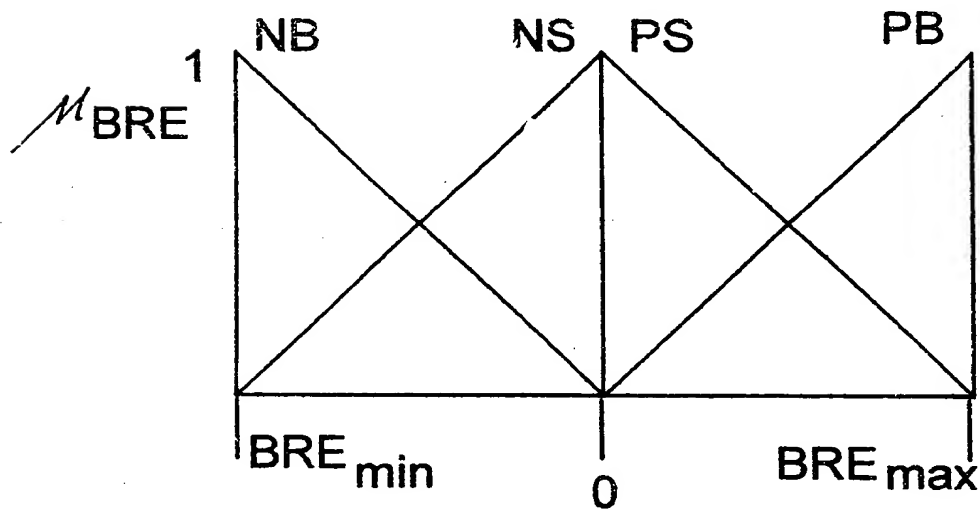


Fig4

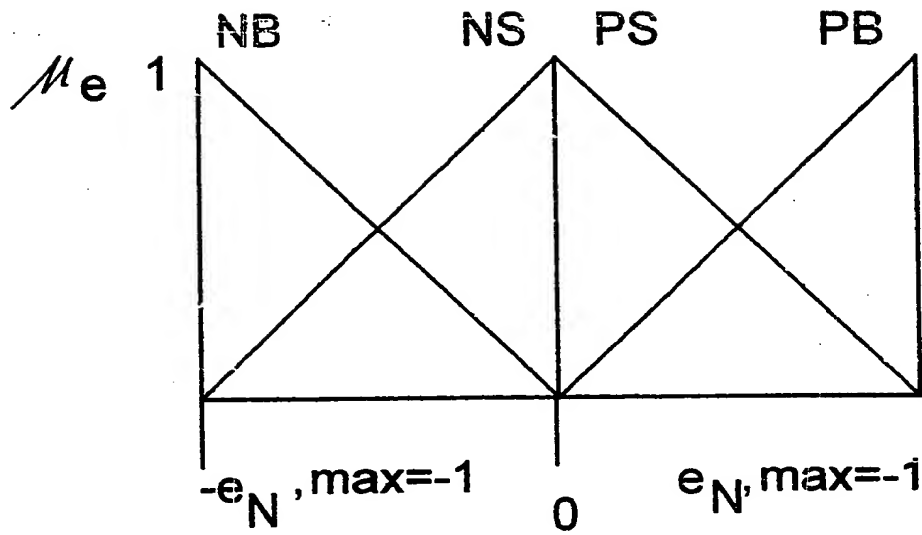


Fig5

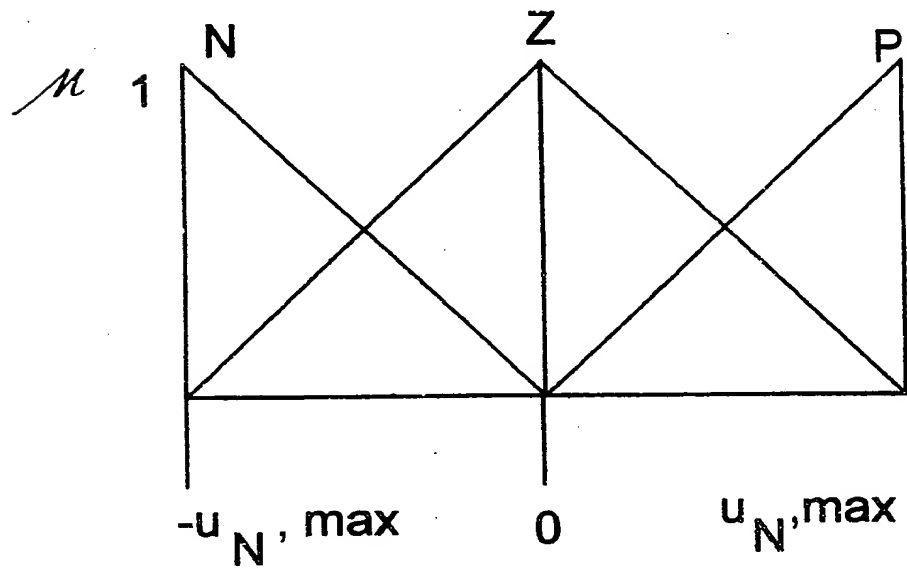


Fig6

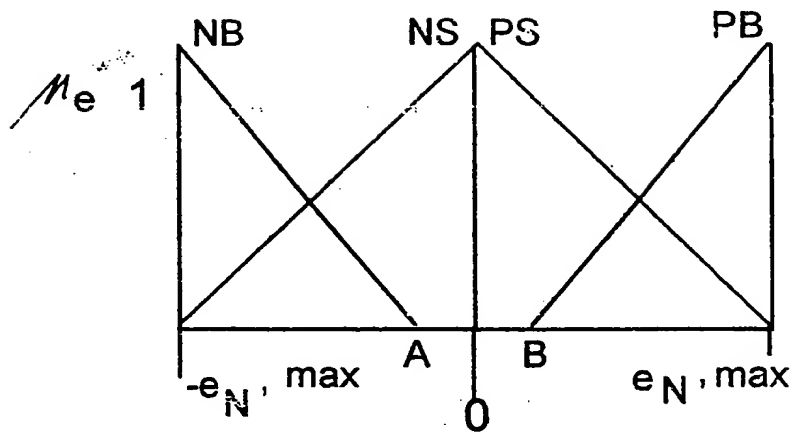


Fig7

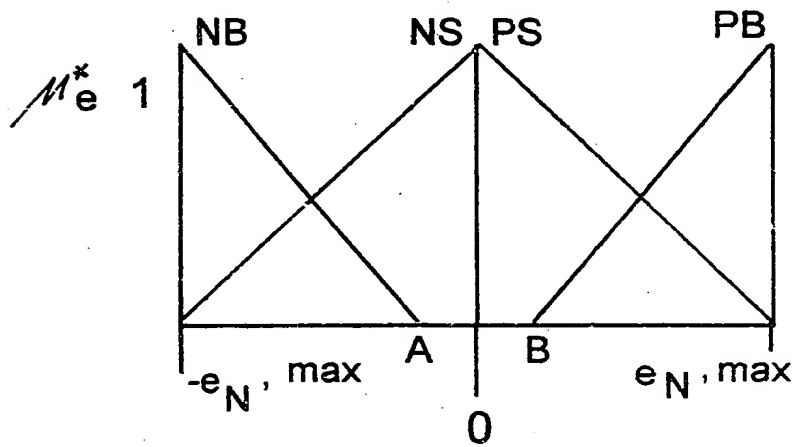


Fig8

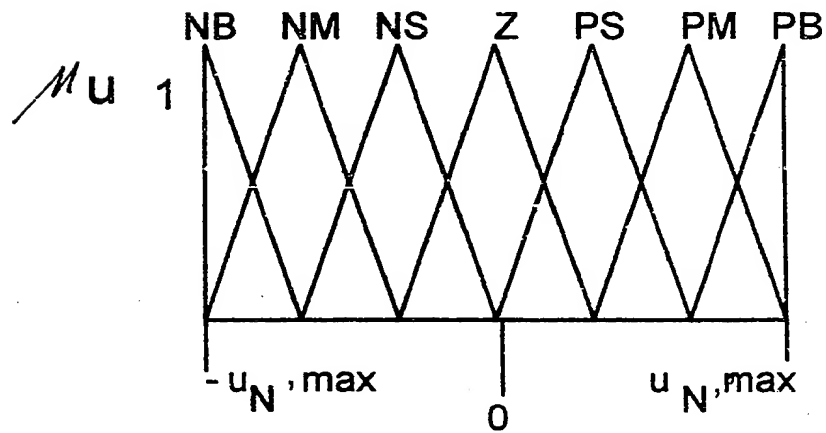


Fig9

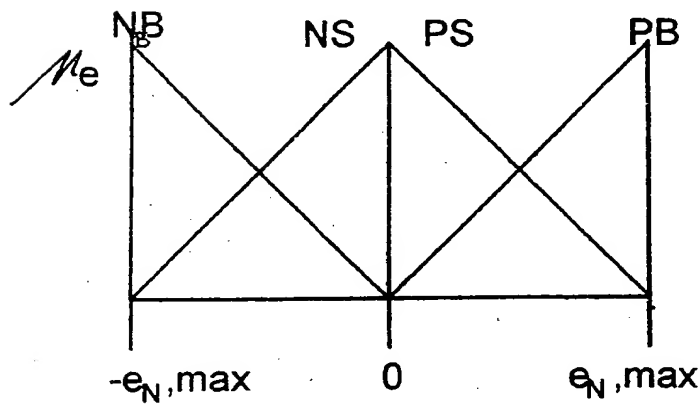
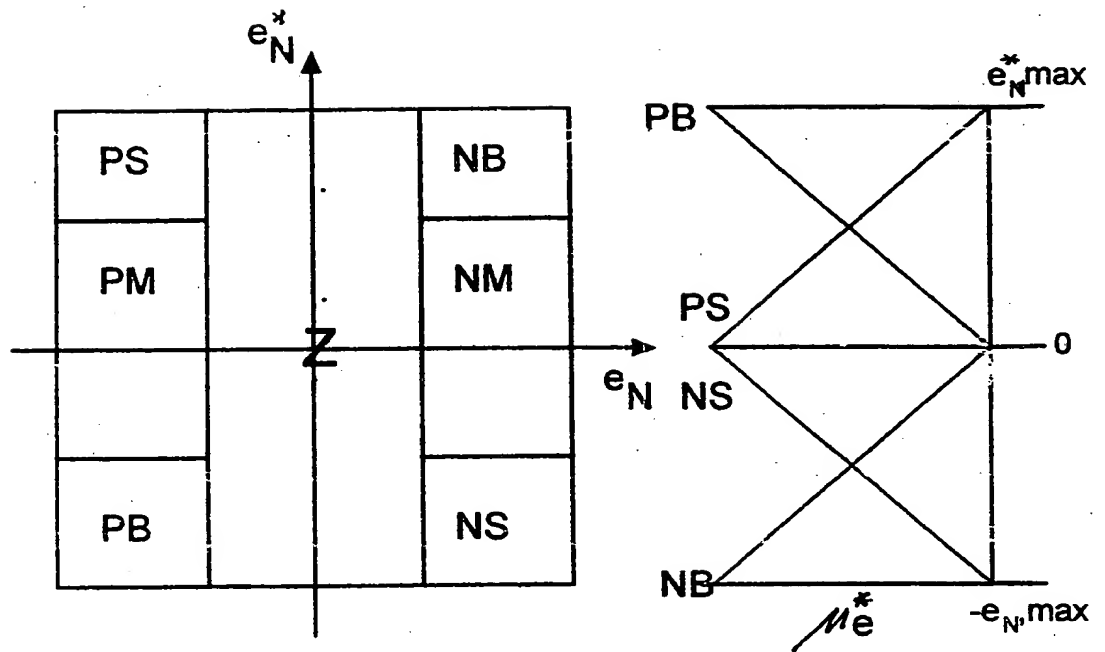


Fig10

$x_1 \backslash x_2$	S	M	B
S	B	B	M
M	B	M	S
B	M	S	S

Fig11

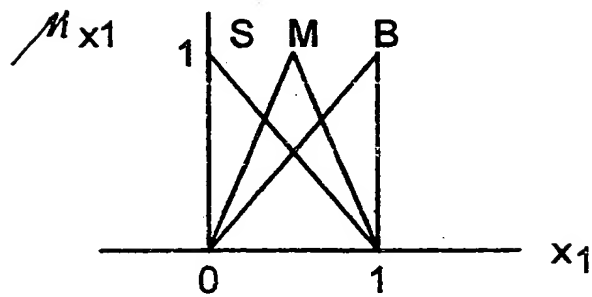


Fig12

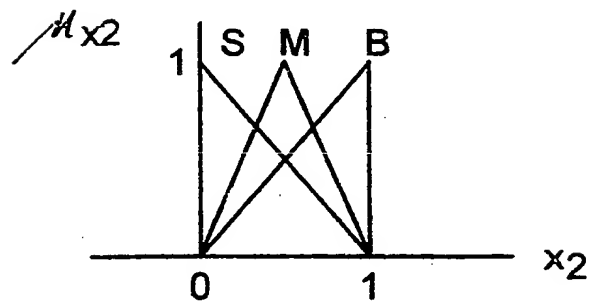


Fig13

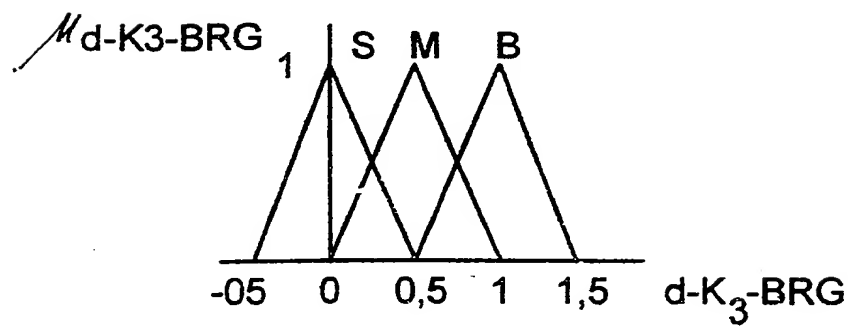


Fig14